

ЗАВИСИМОСТЬ МОЩНОСТИ ТРАНСФОРМАТОРА ОТ НАПРЯЖЕНИЯ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ

И. Д. КУТЯВИН, С. А. СТЕПАНОВ

В статье изложены результаты исследования зависимости номинальной мощности трансформатора от его напряжения (сопротивления) короткого замыкания (к. з.).

Сопротивление к. з. трансформатора является очень важным его параметром. Известно, что снижение этого сопротивления улучшает условия поддержания постоянства напряжения в системе, снижает потери реактивной мощности и повышает динамическую устойчивость системы. Но при этом увеличиваются токи короткого замыкания в системе, и поэтому ухудшаются условия работы электрической аппаратуры. Технико-экономическая оценка этих факторов, возможно, позволила бы определить оптимальную величину сопротивления к. з. трансформаторов, но задача эта очень сложна и в пределах данной статьи не может быть рассмотрена.

Для выяснения исследуемой зависимости воспользуемся выражением мощности на стержень трансформатора, заимствованным из [1]

$$S_c = k \cdot q_c \cdot B_c \cdot q_m \cdot \Delta \text{ кВа}, \quad (1)$$

где

$$k = 4,44 f \cdot 10^{-7}, \quad (2)$$

q_c и q_m — площади сечений стали стержня и меди обмотки ($q_m = w q_{пр}$),
 w — число витков, $q_{пр}$ — площадь сечения провода обмотки,
 B_c и Δ — индукция в стержне, тл и плотность тока в обмотке, а/см²,

$$q_c = k_c \frac{\pi d^2}{4}, \quad (3)$$

где

d — диаметр описанного круга вокруг стержня,

k_c — коэффициент заполнения сталью стержня.

Реактивная составляющая сопротивления к. з. в относительных единицах [1]

$$x_p = \frac{2 k_p q_m \Delta l_m \delta'}{3,33 q_c \cdot B_c \cdot h} \cdot 10^{-4}, \quad (4)$$

где

k_p — коэффициент Роговского;

h — осевая высота обмоток (рис. 1);

l_m — длина среднего витка обмоток (канала рассеяния);

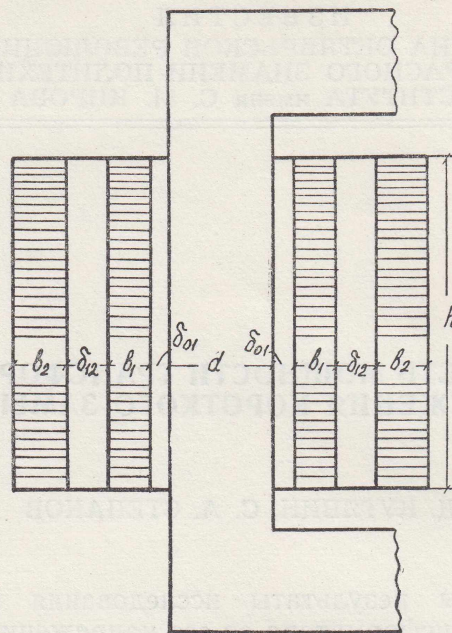


Рис. 1

$$I_M = \pi (d + 2\delta_{01} + 2b_1 + \delta_{12}); \quad (5)$$

δ' — приведенная ширина канала рассеяния;

$$\delta' = b_1 + b_2 + 3\delta_{12}; \quad (6)$$

δ_{01} и δ_{12} — радиальные расстояния от стержня до обмотки и между обмотками;

b_1 и b_2 — радиальные ширины сечений обмоток.

Подставив выражение для произведения $q_m \Delta$ из (4) в (1), найдем

$$S_c = C \frac{(q_c B_c)^2 x_p \cdot h}{I_M \delta'} \text{ ква}, \quad (7)$$

$$C = K \frac{3,33 \cdot 10^{-4}}{2 k_p} = 7,4 \frac{f}{k_p} 10^{-3}, \quad (8)$$

где f — число периодов тока, гц.

Из выражения (7) видно, что мощность стержня при заданных размерах трансформатора прямо пропорциональна x_p .

Для количественного представления о зависимости $S_c(x_p)$ приняты размеры трансформатора, близкого к предельной мощности, а именно (размеры в сантиметрах): $d=140$; $h=250$; $b_1=8$; $b_2=10$; $\delta_{01}=3$; $\delta_{12}=5$; 10; 15; 20; $k_p=0,95$; $k_c=0,85$; $B_c=1,75$ тл. Обмотки: первичная винтовая многозаходная, вторичная — непрерывная катушечная.

В пунктах 1—4 табл. 1 приведены значения мощности стержня в мВА, вычисленные по (7) в виде зависимости $S_c(x_p, \delta_{12})$. Значения

Таблица

№ п	x_p	0,03	0,05	0,10	0,15	0,20
1	5	88	147	295	442	590
2	10	59	99	198	296	395
3	15	44	73	146	218	292
4	20	34	57	114	172	229
5	5	66	109	218	327	435

$\delta_{12}=5 \div 20$ соответствуют ориентировочно номинальным напряжениям вторичной обмотки (ВН) в пределах 110—750 кВ.

В пункте 5 приведена зависимость $S_c(x_p)$ для многослойной вторичной обмотки при числе слоев $m=8$, расстоянии между медью соседних слоев $\delta=2,4$ см и радиальной толщине меди слоя $x=0,6$ см. При этих данных радиальная толщина вторичной обмотки составляет $b_2=21,6$ см. Для многослойной обмотки один конец внутреннего слоя заземлен, поэтому значение $\delta_{12}=5$ см и не зависит от напряжения этой обмотки.

Для всех мощностей S_c , приведенных в пунктах 1—4 таблицы, основные габаритные размеры трансформатора (d, h, b_1, b_2) остаются неизменными, поэтому при малых значениях x_p получается слабое использование активных материалов, в особенности стали сердечника. Но с ростом x_p будут увеличиваться затраты активных материалов и средств на компенсацию реактивной мощности. Следовательно, должно существовать оптимальное значение x_p , которое можно определить, произведя технико-экономическую оценку расчетных затрат на трансформатор и компенсацию реактивной мощности.

Выясним еще возможные ограничения широкому изменению x_p со стороны электродинамических усилий. Для ориентировочной оценки (закономерности) зависимости напряжения в меди обмоток от радиальных усилий воспользуемся формулой, приведенной в [2]:

$$\sigma_p = 6,4 \frac{(i_{kw})^2 l_m k_p}{2 \pi q_m h} \cdot 10^{-8}, \quad (9)$$

где

$$(i_{kw}) = \frac{1,8 \sqrt{2} \Delta q_m}{x_p}. \quad (10)$$

Подставив выражения (i_{kw}) и x_p в (9), найдем

$$\sigma_p = 18,2 \frac{(B_c q_c)^2 h}{q_m l_m k_p (\delta')^2}. \quad (11)$$

Числитель выражения (11) в нашей задаче постоянен, а знаменатель с ростом x_p и δ' растет, потому что с ростом x_p увеличивается мощность S_c , и следовательно, q_m . Это указывает на отсутствие ограничений по электродинамическим усилиям при увеличении x_p .

ЛИТЕРАТУРА

1. И. Д. Кутявин, Л. И. Дель. О предельной мощности трансформаторов. Изв. ТПИ, т. 172. Томск, изд-во ТГУ, 1967.
2. П. М. Тихомиров. Расчет трансформаторов. «Энергия», 1968.